

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-079657

(43)Date of publication of application : 22.03.1994

(51)Int.Cl.

B25J 5/00

(21)Application number : 04-253878

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 28.08.1992

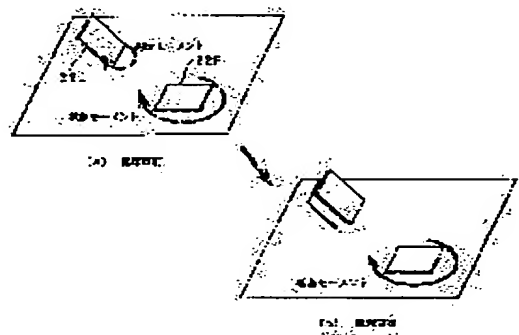
(72)Inventor : HASEGAWA TADAAKI
TAKENAKA TORU

(54) WALK CONTROL DEVICE FOR LEG TYPE MOBILE ROBOT

(57)Abstract:

PURPOSE: To stabilize the high speed walking attitude of a robot by furnishing a means to distribute over the legs the resultant force and moment of all floor reactive forces to be aimed at, and providing a means to control the attitude of the robot in accordance with the distributed floor reaction force.

CONSTITUTION: All floor reactive forces acting on a robot as a whole are designed previously and distributed over two legs (flat foot) 22L, 22R from the time the legs are supported so that the floor reactive force is continued. That is, a large spin moment is produced at the supporting leg when separating from the floor, so that the floor reactive force moment balancing with the spin moment is given positively to the leg as the supporting one at the next single leg supporting cycle from the time supporting is made with the two legs in advance, and thereby the floor reactive force moment of legs is made continuous even at the boundary point (at separating from the floor). In other words, control is made so that the floor reactive force moment on each leg varies continuously, so that the floor reactive force moment of the leg does not exceed the friction limit even after separation from the floor, and the stability of the attitude can be surely secured.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.10.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3055737

[Date of registration] 14.04.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-79657

(43)公開日 平成6年(1994)3月22日

(51)Int.Cl.⁵

B 2 5 J 5/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

E 8611-3F

C 8611-3F

審査請求 未請求 請求項の数4(全15頁)

(21)出願番号 特願平4-253878

(22)出願日 平成4年(1992)8月28日

(71)出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72)発明者 長谷川 忠明

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

(72)発明者 竹中 透

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

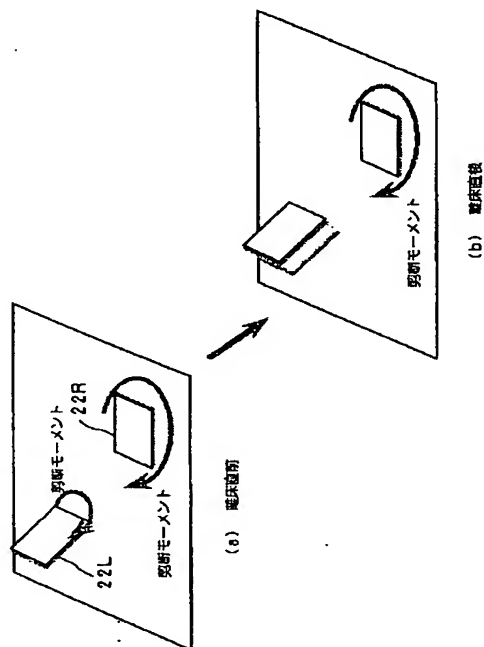
(74)代理人 弁理士 吉田 豊 (外1名)

(54)【発明の名称】 脚式移動ロボットの歩行制御装置

(57)【要約】

【構成】 2足歩行の脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、両脚支持期に目標全床反力を左右の脚部に分配し、次の片脚支持期に支持脚となる脚部に予めモーメントを与えておき、他方の脚が離床して遊脚となるときその支持脚に作用するモーメントを連続させる。

【効果】 モーメントが連続となることから、高速に歩行するときも接地性を失うことなく、安定した姿勢を保持することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基体と、それに連結された複数本の脚部とを備えた脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、

a. 目標とする全ての床反力の合力と合モーメントとその作用点であるZMPが連続する様に、前記ロボットの歩容を設定する第1の手段、

b. 前記複数本の脚部の目標床反力が支持脚期と遊脚期の境界点においてもそれぞれ連続する様に、前記目標とする全ての床反力の合力と合モーメントを各脚部に分配する第2の手段、

および

c. 分配された床反力に応じて前記ロボットの姿勢を修正して各脚部の床反力を制御する第3の手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項2】 基体と、それに連結された2本の脚部とを備えた2足歩行の脚式移動ロボットの歩行制御装置において、

a. 目標とする全ての床反力の合力と合モーメントとその作用点であるZMPが連続する様に、前記ロボットの歩容を設定する第1の手段、

b. 前記目標とする全ての床反力の合力と合モーメントを両脚支持期に、次の片脚支持期に支持脚となる第1の脚部の目標床反力が両脚支持期と片脚支持期の境界点でも連続となる様に、前記第1の脚部と次の片脚支持期に遊脚となる第2の脚部に分配する第2の手段、

および

c. 分配された床反力に応じて前記ロボットの姿勢を修正して各脚部の床反力を制御する第3の手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項3】 前記目標床反力の分配が、前記第1の脚部と第2の脚部の接地圧重心点を結ぶ線分の内分比の逆比から決定されることを特徴とする請求項2項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項4】 前記第2の手段は、前記第2の脚部の目標床反力を前記境界点に向けて経時的に小さくし、前記境界点付近ではほぼ零とする様に分配することを特徴とする請求項2項または3項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は脚式移動ロボットの歩行制御装置に関し、より具体的には2足歩行の脚式移動ロボットにおいて、目標とする床反力が両脚部全体についてのみならず、各脚部のそれぞれについても連続する様に歩行制御して高速に移動できる様にしたものに

【0002】

【従来の技術】脚式移動ロボット、特に2足歩行の脚式

移動ロボットとしては、特開昭62-97005号、特開昭63-150176号公報記載のものなどが知られている。また脚式移動ロボットを含むロボットの制御については、「ロボット工学ハンドブック」、日本ロボット学会編、1990年10月20日)に詳しい。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】この脚式移動ロボット、例えば2足歩行の脚式移動ロボットにあっては、ある歩容、例えば脚軌道と腰軌道などで表現される歩容が与えられた場合、その運動によって慣性力と慣性トルクが発生し、それに重力を合わせた合力と合モーメントに釣り合う様に、図14に示される全床反力が発生しなければならない(ここで、「全床反力」はある作用点に働く全ての力とモーメントの組み合わせの意味で使用する。また、この明細書では一般的な意味の力と、床反力の様な一般的な意味の力の成分とモーメントの成分とを合わせた力とを区別するために、床反力の力成分を「並進力」を呼ぶ)。

【0004】ところで、片脚支持期の場合には支持脚に働く床反力がそのまま全床反力になるが、両脚支持期の場合には各脚部に働く床反力の合力と合モーメントが全床反力となることから、両脚支持期では各脚部の床反力の組み合わせは、一意には決まらない。通常この全床反力の作用点はZMP (Zero Moment Point)と呼ばれ、荷重の移動に合わせて床面上を移動する様にロボットの歩容は設計されるが、ZMPが連続に設計されていても、各脚部の床反力の分配において配慮が足りないと、床反力が不連続となる。特に、脚式移動ロボットの歩行速度が上がるにつれ、ヨー方向(鉛直方向(z方向))のスピンモーメントが大きくなり、その結果、両脚支持期から片脚支持期に移行する際に、床反力の成分のうち、床面法線方向のモーメントに大きな不連続が発生し、ロボット足平の接地性が失われる。

【0005】姿勢の安定性を確保するために、従来、ロボットにカウンタウェイトを取りつける試みも提案されている。この手法をスピンモーメントのキャンセルに応用すれば、スピンモーメントが常に零になるので、上記の不都合は発生しなくなるが、カウンタウェイトの分だけロボットの自重が増して歩行に必要な消費エネルギーが大きくなり、またカウンタウェイトが外界と干渉する恐れもある。

【0006】従って、この発明の目的は上記した不都合を解消することであり、ロボットが高速に歩行するときも足平の接地性を十分確保しつつ安定した姿勢で移動できる様にした脚式移動ロボットの歩行制御装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は例えば請求項1項に示す如く、基体と、それに連結された複数本の脚部とを備えた脚式移動

ロボットの歩行制御装置であって、目標とする全ての床反力の合力と合モーメントとその作用点であるZMPが連続する様に、前記ロボットの歩容を設定する第1の手段、前記複数本の脚部の目標床反力が支持脚期と遊脚期の境界点においてもそれぞれ連続する様に、前記目標とする全ての床反力の合力と合モーメントを各脚部に分配する第2の手段、および、分配された床反力に応じて前記ロボットの姿勢を修正して各脚部の床反力を制御する第3の手段、を備える如く構成した。

【0008】

【作用】ロボットの各脚部の目標床反力を、支持脚期と遊脚期との境界点においても連続する様に決定し、それを追従する様に各脚部に作用する実際の床反力を制御することから、換言すれば、各脚部に作用する実際の床反力が不連続的に急激な変化を起こさない様に制御することから、実際の床反力が瞬間的にも摩擦限界を超えることがなくて常にその限界内に止めることができ、高速歩行時にヨー方向のスピンモーメントが大きくなっても接地性を失うことがなく、安定した姿勢で移動することができる。

【0009】

【実施例】以下、脚式移動ロボットとして2足歩行の脚式移動ロボットを例にとって、この発明の実施例を説明する。図1はそのロボット1を全体的に示す説明スケルトン図であり、左右それぞれの脚部リンク2に6個の関節を備える（理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。該6個の関節は上から順に、腰の脚部回旋用（z軸まわり）の関節10R、10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、腰のロール方向（x軸まわり）の関節12R、12L、同ピッチ方向（y軸まわり）の関節14R、14L、膝部のピッチ方向の関節16R、16L、足首部のピッチ方向の関節18R、18L、同ロール方向の関節20R、20Lとなっており、その下部には足平22R、22Lが装着されると共に、最上位には筐体（上体ないしは基体）24が設けられ、その内部には制御ユニット26が格納される。

【0010】上記において腰関節は関節10R（L）、12R（L）、14R（L）から構成され、また足関節は、関節18R（L）、20R（L）から構成される。また、腰関節と膝関節との間は大腿リンク32R、32Lで、膝関節と足関節との間は大腿リンク34R、34Lで連結される。ここで、脚部リンク2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節（軸）をそれぞれ適宜な角度に駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行することができる様に構成される。先に述べた様に、上記した関節は電動モータからなり、更にはその出力を倍力する減速機などを備えるが、その詳細は先に本出願人が提案した出願（特願平1

324218号、特開平3-184782号）などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0011】図1に示すロボット1において、足首部には公知の6軸力センサ36が設けられ、足平を介してロボットに伝達されるx、y、z方向の力成分 F_x 、 F_y 、 F_z とその方向まわりのモーメント成分 M_x 、 M_y 、 M_z とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また足平22R

10（L）には静電容量型の接地スイッチ38（図1で図示省略）が設けられて、足平の接地の有無を検出する。更に、筐体24には傾斜センサ40が設置され、x-z平面内とy-z平面内のz軸に対する、即ち、重力方向に対する傾斜角度と傾斜角速度を検出する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。更に、図1では省略するが、ロボット1の適宜な位置には傾斜センサ40の出力を補正するための原点スイッチ42と、フェール対策用のリミットスイッチ44が設けられる。これらの出力は前記した筐体24内の制御ユニット26に送られる。

20【0012】尚、足平22R（L）の底面には図2に良く示す如く、適宜な摩擦力和弾性変形特性を備えたゴム材などからなる弾性体220が貼りつけられる。

【0013】図3は制御ユニット26の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40などの出力はA/D変換器50でデジタル値に変換され、その出力はバス52を介してRAM54に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ56を介してRAM54内に入力されると共に、接地スイッチ38などの出力は波形整形回路58を経て同様にRAM54内に格納される。制御ユニット内にはCPUからなる第1、第2の演算装置60、62が設けられており、第1の演算装置60は後で述べる様に生成されてROM64に格納されている歩容（腰軌道、足平軌道）を読み出して目標関節角度を算出してRAM54に送出する。また第2の演算装置62はRAM54からその目標値と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な制御値を算出し、D/A変換器66とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。

【0014】続いて、この制御装置の動作を説明する。

【0015】図4と図5はその動作を示すフロー・チャートであるが、同図を参照して説明する前に、図6以降を参照してこの発明の特徴を説明する。

【0016】脚式移動ロボットが歩行するとき、遊脚を前後に振ることによって、ロボットをヨー軸（鉛直軸あるいはz軸）まわりに回転させようとするスピンモーメントが生じる。一方、各脚部には床から床反力が作用する。この床反力を全て合成することによって、全床反力（すべての床反力の合力と合モーメント）が得られる。

5

ロボットがスピンせず所定の進行方向を維持して歩行し続けるためには、全床反力のヨー軸モーメント成分が前記スピンモーメントに釣り合っていないとしない。即ち、次式が成立しなければならない。

全床反力のヨー軸モーメント成分+スピンモーメント=0

尚、この式は、オイラ・ニュートン方程式のz軸モーメント成分に関するつり合いの式であり、安定に設計通りの歩行を行わせるためには、オイラ・ニュートン方程式の他の成分に関するつり合いの式も満足しなければならないが、以下ではそれに関する説明を省略する。

【0017】そして、先に述べた様に、脚式移動ロボットが歩行すると、スピンモーメントによってロボットの上体がスピンモーメントと同じ方向に回転しようとする。この結果、従来の一般的な位置制御によって関節を駆動する場合、両脚支持期には前脚と後脚が床に対して互いに逆の横方向(y方向)に滑ろうとし、それを抑える方向に摩擦力が例えば図6の(a)に示す如く発生する。即ち、両足支持期にはスピンモーメントにつり合う床反力モーメントは、主にy方向の剪断力によって発生する。しかし、続いて片脚支持期に移行した瞬間、遊脚(後脚)には床反力が作用しなくなるため、モーメントのつり合いがとれなくなってロボットの上体がスピンモーメントの方向に回転し始める。この結果、足平22Rの底面の弾性体220が捩れ、図6の(b)に示す様に支持脚にスピンモーメントにつり合う実床反力モーメントが発生する。即ち、各脚に作用すべき床反力モーメントに不連続が生じ、それに対して各脚の実際の床反力モーメントは時間遅れをとまって発生し、しばらくすると、実際の床反力モーメントがスピンモーメントにつり合うまでに増加する。しかし、多くの場合、上体24の回転の勢いによって、弾性体220がさらに捩れ、実際の床反力モーメントがオーバーシュートし、最悪の場合、摩擦限界を超えてスピンして姿勢を崩す。

【0018】この発明は上記の問題を解決するものであり、全体としてロボットに作用する全床反力は予め歩容で設計していることから、その全床反力を両脚支持期のときから各脚部に分配して床反力を連続させる様にした。即ち、離床のときに支持脚に大きなスピンモーメントが生じることは否定し難いので、図7の(a)(b)に示す様に、予め両脚支持期のときから次の片脚支持期に支持脚となる脚部にスピンモーメントにつり合う床反力モーメントを積極的に与えておき、それによって境界点(離床時点)においても各脚の床反力モーメントが連続する様にした。別言すれば、各脚の床反力モーメントを連続的に変化するように制御するので、離床の後各脚の床反力モーメントが摩擦限界を超えることがなく、よって姿勢の安定性を確実に確保することができる。

【0019】図8ないし図10を参照して更に敷衍すると、目標全床反力(スピンモーメントを中心に述べてい

6

るため、並進力FyとモーメントMzのみ図示する)は各脚部に、作為的にせよ不作為的にせよ、分配されることになるが、図8に示す様に不連続に分配されると、図10の(a)に示す様に、発生する実際の床反力モーメントMzが不連続点の直後にオーバーシュートして目標値(予め設計した歩容で予定する)を超え、限界モーメント(摩擦限界)を超えたところでスピンして接地性を失う。それに対し、図9に示す様に、各脚の目標床反力モーメントが連続する様に作為的に目標床反力を分配すると、図10の(b)に見られる如く、実際の各脚の床反力モーメントMzはほぼ目標値に追従して安定した姿勢を保持する。

【0020】以上を前提として図4フロー・チャート(PAD図、構造化フロー・チャート)を参照してこの制御装置の動作を説明する。

【0021】図4はロボットの歩行制御ルーチンで、例えば10歩の歩行でゴールに到達する様に歩容が予め設計されており、またその歩容では目標とする全床反力とその作用点であるZMPが任意の時刻で連続する様に設計されているものとする。従って、ゴールに到達するまで、1歩ごとにS1からS3までの作業が行われる。具体的には1歩ごとにS3からS4以降に進み、先ずS4において歩容の特徴を表す各種のパラメータに基づいて脚軌道と目標ZMP軌道の瞬間値を求める。続いてS5に進んで動力学的に目標ZMPを満足する様に腰(上体)位置を求める。これらS4、S5のステップを経て目標姿勢を確定する。次にS6に進み、そこで目標床反力分配作業を行う。

【0022】図5はその作業を示すサブルーチン・フロー・チャートであり、先ずS10で片脚支持期か両脚支持期か判断し、片脚支持期と判断されるときは図11に示す様に支持脚の目標接地圧重心点をZMPに設定すると共に、S14に進んで支持脚の目標床反力を目標全床反力に設定する。ここで接地圧重心点は図12に示す如く、z方向のモーメントMzを除き、x、y方向のモーメントMx、Myが生じない様な床反力の作用点を意味し、片脚支持期のときはZMPに一致する。これについては本出願人が先に出願した特願平4-155916号(平成4年5月22日出願)に述べられているので、詳細な説明は省略する。いずれにしても、片脚支持期のときは一方の脚部のみで支持することから、床反力を分配する必要はない。

【0023】他方、S10で両脚支持期と判断されるときはS16に進み、各脚の目標接地圧重心点を図13に示す如く、片脚支持期との境界においても連続になり、ZMPがそれらの内分点になる様に設定し、続いてS18に進んで先ず並進力成分(床反力の力成分)を内分比の逆比で分配し、各脚の目標床反力の並進力成分に設定し、続いてS20に進んでモーメント成分についても同様の手法で分配する。これにより、次の片脚支持期に支

持脚となる脚部に分配される床反力は図9に示す如く、境界点（離床時点）に向けて経時的に大きくなりつつ連続すると共に、遊脚となる脚部に分配される床反力は境界点付近で実質的に零となる。

【0024】再び図4フロー・チャートに戻ると、次いでS7に進んで前記した6軸力センサ36を通じて各脚の実床反力を計測し、S8に進んで各脚の実床反力がS6で分配された各脚の目標床反力に追従する様に目標脚姿勢を変更し、S9に進んでロボットの関節を変位制御してロボットの目標姿勢を追従させる。具体的には、床に対する足平の相対的な位置・姿勢を変えて（例えばひねって）足平22R（L）の弾性体220を変形させることによって各脚の実床反力を操作することになる。

【0025】以上述べた作業を行うことにより、図7あるいは図9に示す様に、両脚支持期のときから離床時点に向けて、次に支持脚となる脚部に連続したモーメント目標値を与えることができ、実際のモーメントも目標付近に追従することとなって限界を超えることがない。従って、ロボットは高速に歩行するときも接地性を失うことなく、安定した姿勢で移動することができる。

【0026】また、先に述べた本出願人が先に提案した技術と併せて用いるとき、不整地であると否とを問わず、各脚についても目標床反力を連続する様に制御することができ、一層効果を挙げることができる。

【0027】尚、上記において、床反力のうちモーメントMzを中心に説明したが、分配する床反力成分はそれに限られるものではないことは言うまでもない。

【0028】また、床反力の分配の手法として接地圧重心点を結ぶ線分の内分比の逆比で求める例を示したが、これは最も簡易な手法であり、これに限られるものではなく、その他、床反力が境界点において連続する限り、どの様に分配しても良い。

【0029】また、ZMPが目標接地圧重心点の内分点になっていない場合には、この様な分配はできないので、別の手法で分配する必要がある。ただし、歩容を設計するときに、予めZMPが内分点になる様にしておけば、そのときの各脚の目標接地圧重心点をそのまま用いれば良い。また、平地や階段の場合には接地床面法線方向が各脚部とも全て同じになるので、上記した手法で分配することができるが、これらが同一平面上にないときも、この様な分配はできないので、別の手法を用いることになる。

【0030】また、実施例では、足平に弾性体を備える変位制御型のロボットにおいて目標姿勢を修正することによって各脚の実床反力を制御する例を示したが、それに限られるものではなく、足平に弾性体を備えなくとも、足首部などにトルク制御型の関節を備えるロボットであれば、トルク制御によって直接的に各脚の実床反力を制御することも可能である。

【0031】更に、上記においてZMP軌道が連続であ

る例を示したが、それに限られるものではなく、不連続であってもある程度の効果を挙げることができる。

【0032】更に、上記において腰軌道などの歩行パターンを予め設定しておく場合に適用する例を示したが、それに限られるものではなく、歩行のときリアルタイムに求める様にした技術にも応用可能である。

【0033】更に、上記において2足歩行の脚式移動ロボットを例にとって説明してきたが、それに限られるものではなく、3足以上の脚式移動ロボットにも妥当するものである。

【0034】

【発明の効果】請求項1項にあっては、基体と、それに連結された複数本の脚部とを備えた脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、目標とする全ての床反力とその作用点であるZMPが連続する様に、前記ロボットの歩容を設定する第1の手段、前記複数本の脚部の目標床反力が支持脚期と遊脚期の限界点においてもそれぞれ連続する様に、前記目標とする全ての床反力の合力と合モーメントを各脚部に分配する第2の手段、および分配された床反力に応じて前記ロボットの姿勢を修正して各脚部の床反力を制御する第3の手段を備える如く構成したので、目標とする床反力が脚部全体についてのみならず、各脚部のそれぞれについても連続する様に制御することとなり、摩擦限界内に抑制することができて高速歩行時にも安定した姿勢で移動させることができる。

【0035】請求項2項にあっては、基体と、それに連結された2本の脚部とを備えた2足歩行の脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、目標とする全ての床反力とその作用点であるZMPが連続する様に、前記ロボットの歩容を設定する第1の手段、前記目標とする全ての床反力の合力と合モーメントを両脚支持期に、次の片脚支持期に支持脚となる第1の脚部の目標床反力が両脚支持期と片脚支持期の境界点でも連続となる様に、前記第1の脚部と次の片脚支持期に遊脚となる第2の脚部とに分配する第2の手段、および分配された目標床反力に応じて前記ロボットの姿勢を修正して各脚部の床反力を制御する第3の手段を備える様に構成したので、目標とする床反力が両脚部全体についてのみならず、各脚部のそれぞれについても連続することとなり、限界内に抑制することができて高速に歩行するときも安定した姿勢で移動することができる。

【0036】請求項3項にあっては、前記目標床反力の分配は、前記第2の脚部と第1の脚部の接地圧重心点を結ぶ線分の内分比の逆比から決定される様に構成したので、簡易な構成でありながら、適切に目標床反力を分配することができる。

【0037】請求項4項にあっては、前記第2の手段は、前記第2の脚部の目標床反力を前記境界点に向けて経時的に小さくし、前記境界点付近ではほぼ零にする様に分配する如く構成したので、他方の脚部についても床反

力が連続することとなって、一層安定した姿勢を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る脚式移動ロボットの歩行制御装置を全体的に示す概略図である。

【図2】図1に示すロボットの足平の説明断面図である。

【図3】図1に示す制御ユニットの説明ブロック図である。

【図4】この発明に係る脚式移動ロボットの歩行制御装置の動作を示すフロー・チャートである。

【図5】図4フロー・チャートの中の目標床反力分配ルーチンを示すサブルーチン・フロー・チャートである。

【図6】図1に示すロボットに作用する離床の前後の床反力を示す説明図である。

【図7】図6と同様の説明図で、この発明により床反力が連続する様に分配される状態を示す説明図である。

【図8】図6において各脚部に分配された床反力が不連続となる状態を示す説明グラフ図である。

【図9】図7において各脚部に分配された床反力が連続となる状態を示す説明グラフ図である。

【図10】図6（図8）と図7（図9）でそれぞれ分配される床反力とそれにつり合う様に要求されるモーメントとを対比的に示す説明グラフ図である。

10

*【図11】図5フロー・チャートの片脚支持期における床反力の分配を説明する説明図である。

【図12】図5フロー・チャートに示す接地圧重心点を説明する説明図である。

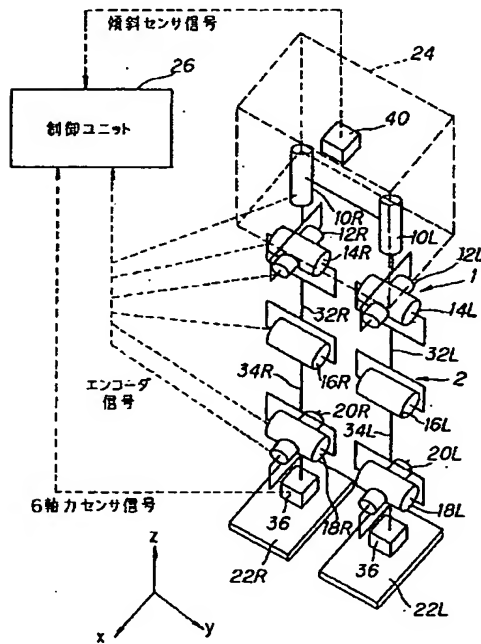
【図13】図5フロー・チャートの両脚支持期における床反力の分配を説明する説明図である。

【図14】2足歩行の脚式移動ロボットに発生する慣性力と慣性トルクを説明する説明図である。

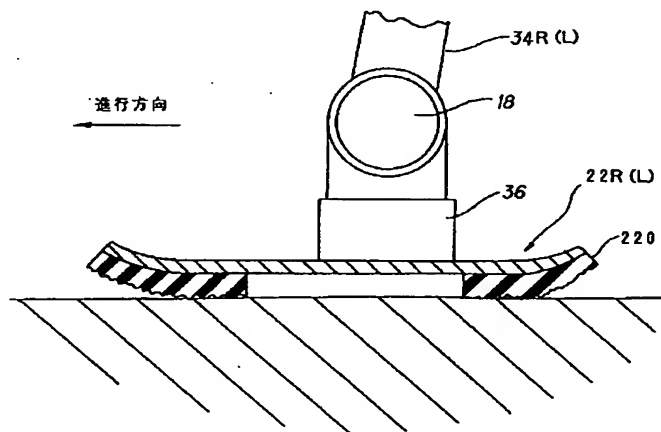
【符号の説明】

1	脚式移動ロボット（2足歩行ロボット）
2	脚部リンク
10R, 10L	脚部回旋用の関節
12R, 12L	腰部のロール方向の関節
14R, 14L	腰部のピッチ方向の関節
16R, 16L	膝部のピッチ方向の関節
18R, 18L	足首部のピッチ方向の関節
20R, 20L	足首部のロール方向の関節
22R, 22L	足平
24	筐体（上体あるいは基体）
26	制御ユニット
36	6軸力センサ
220	弾性体

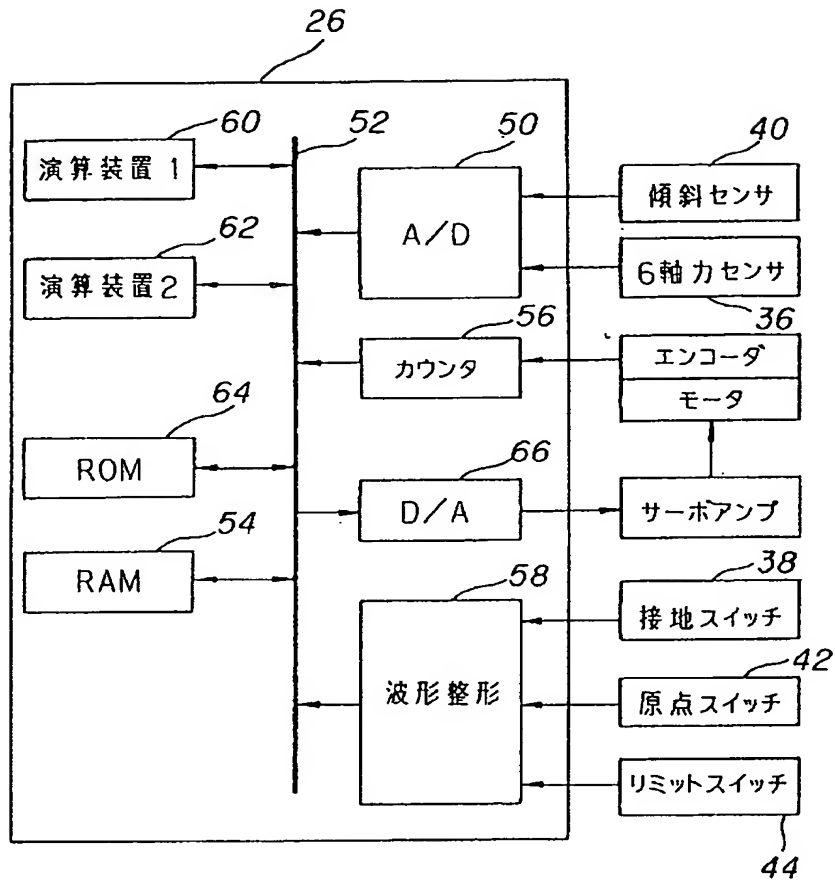
【図1】



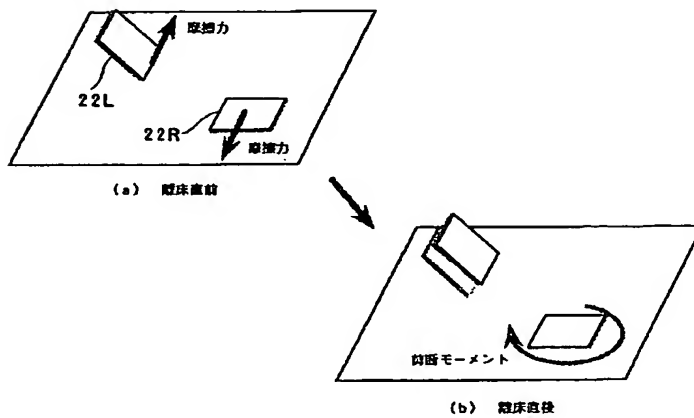
【図2】



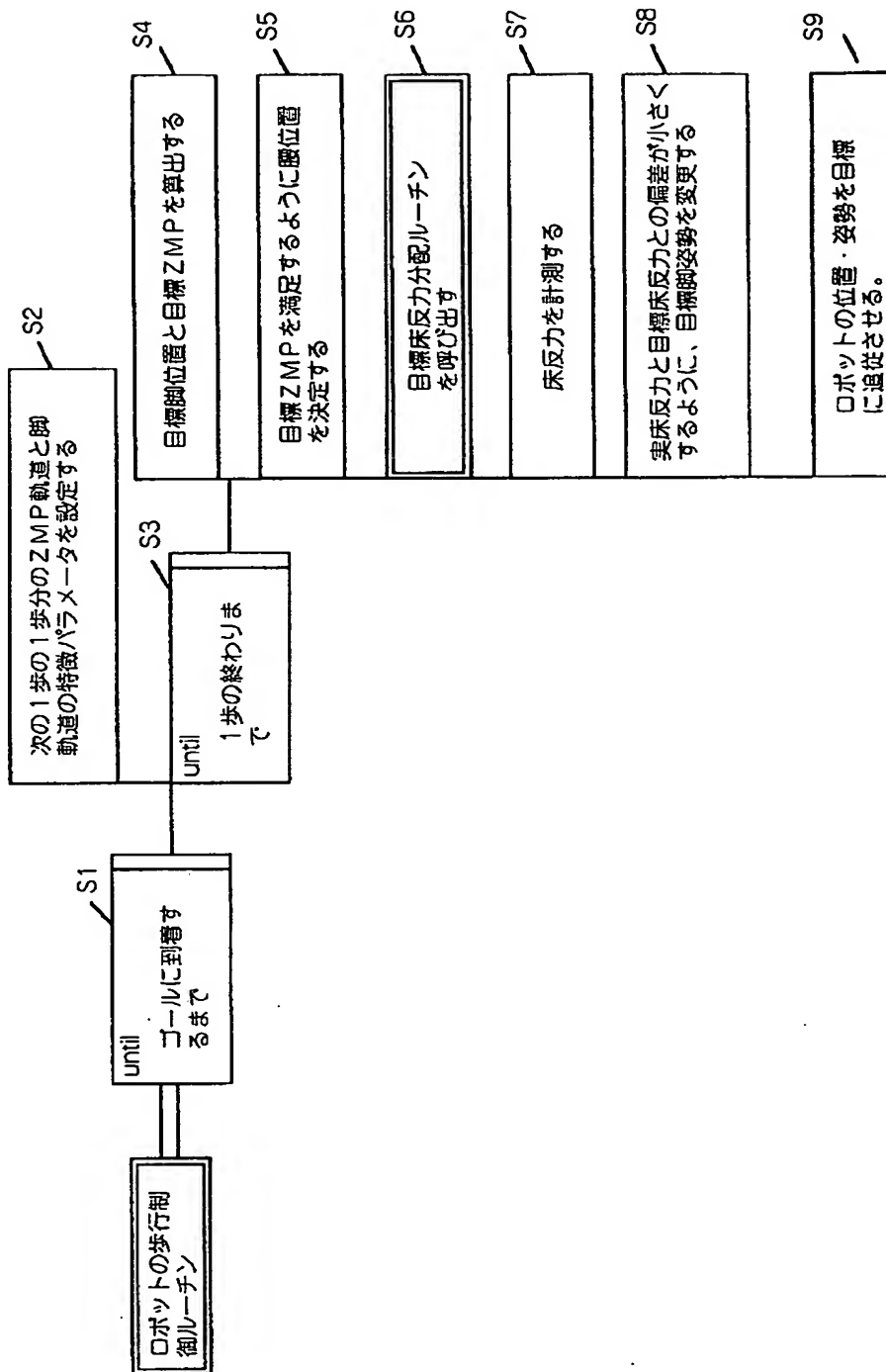
【図3】



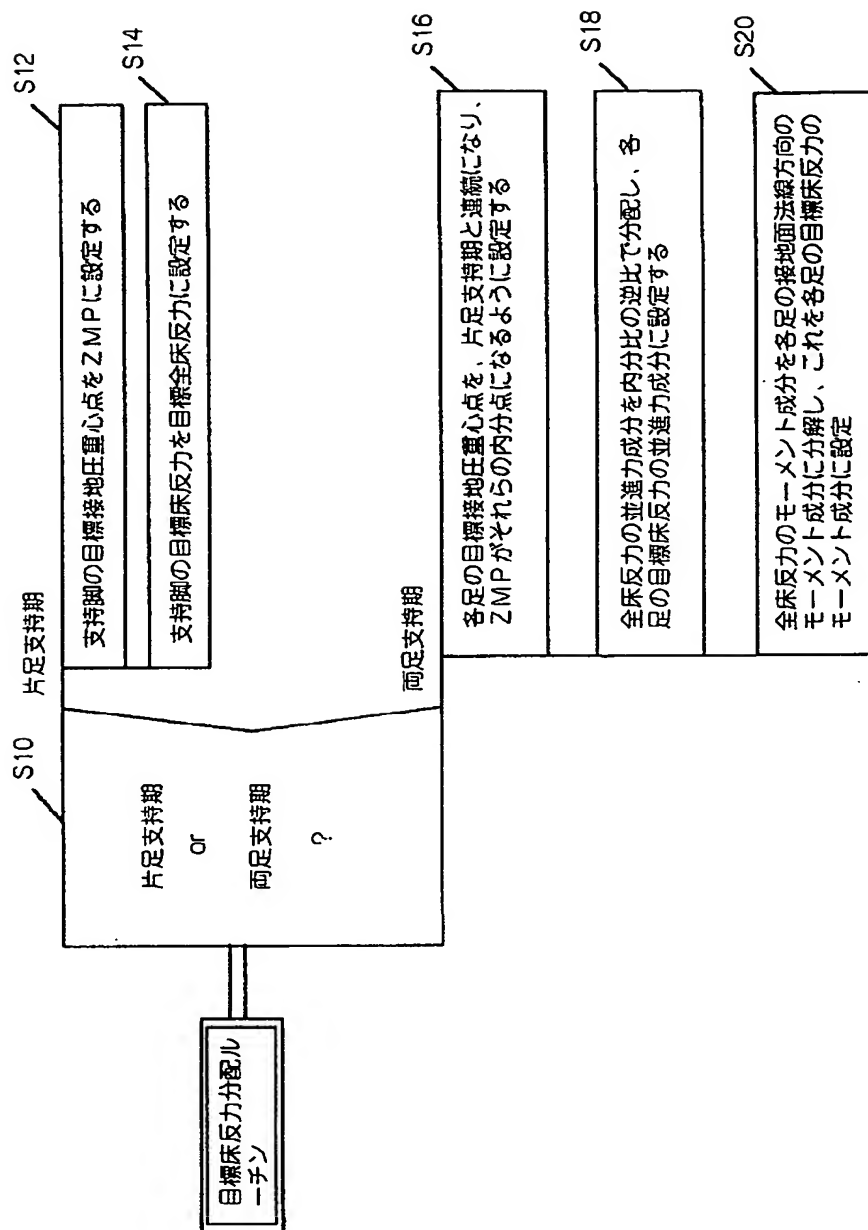
【図6】



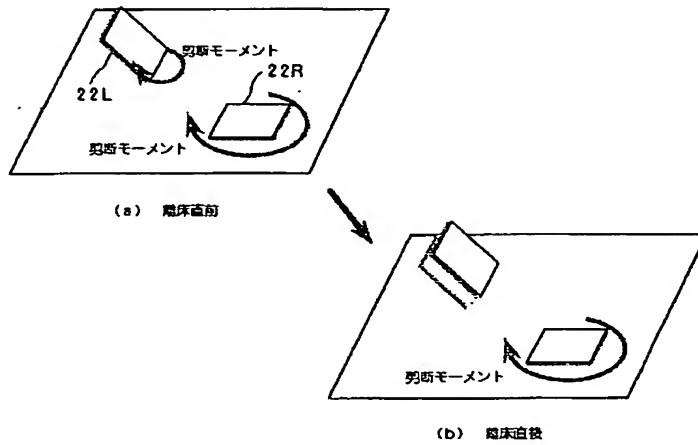
【図4】



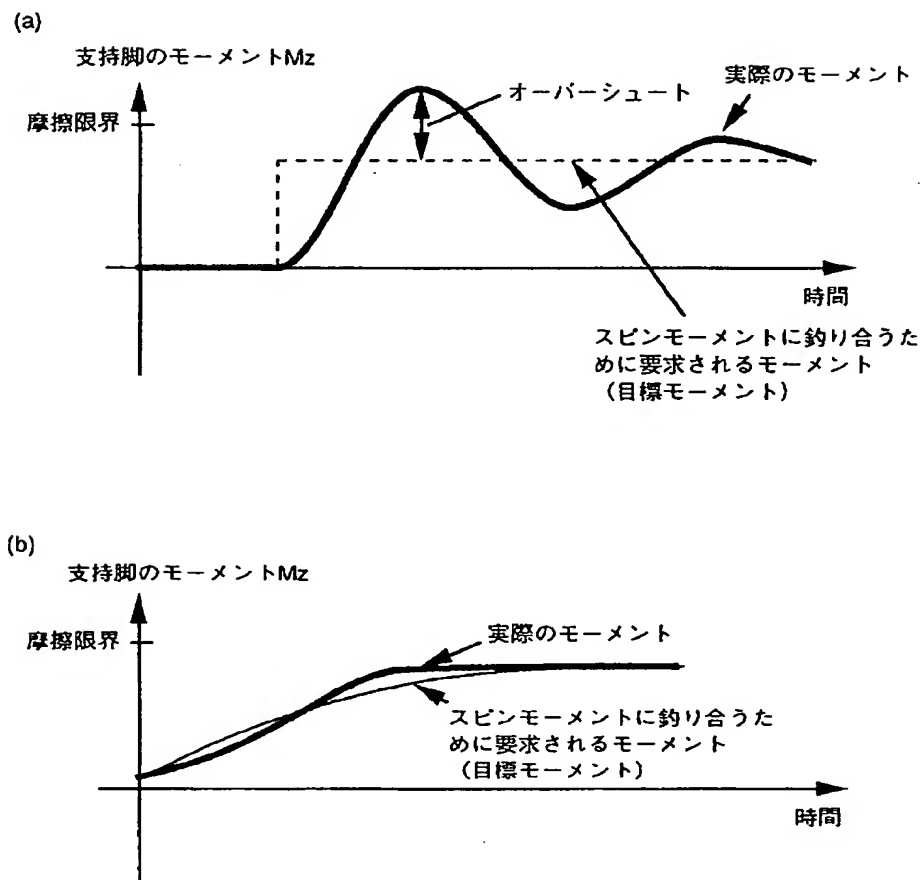
【図5】



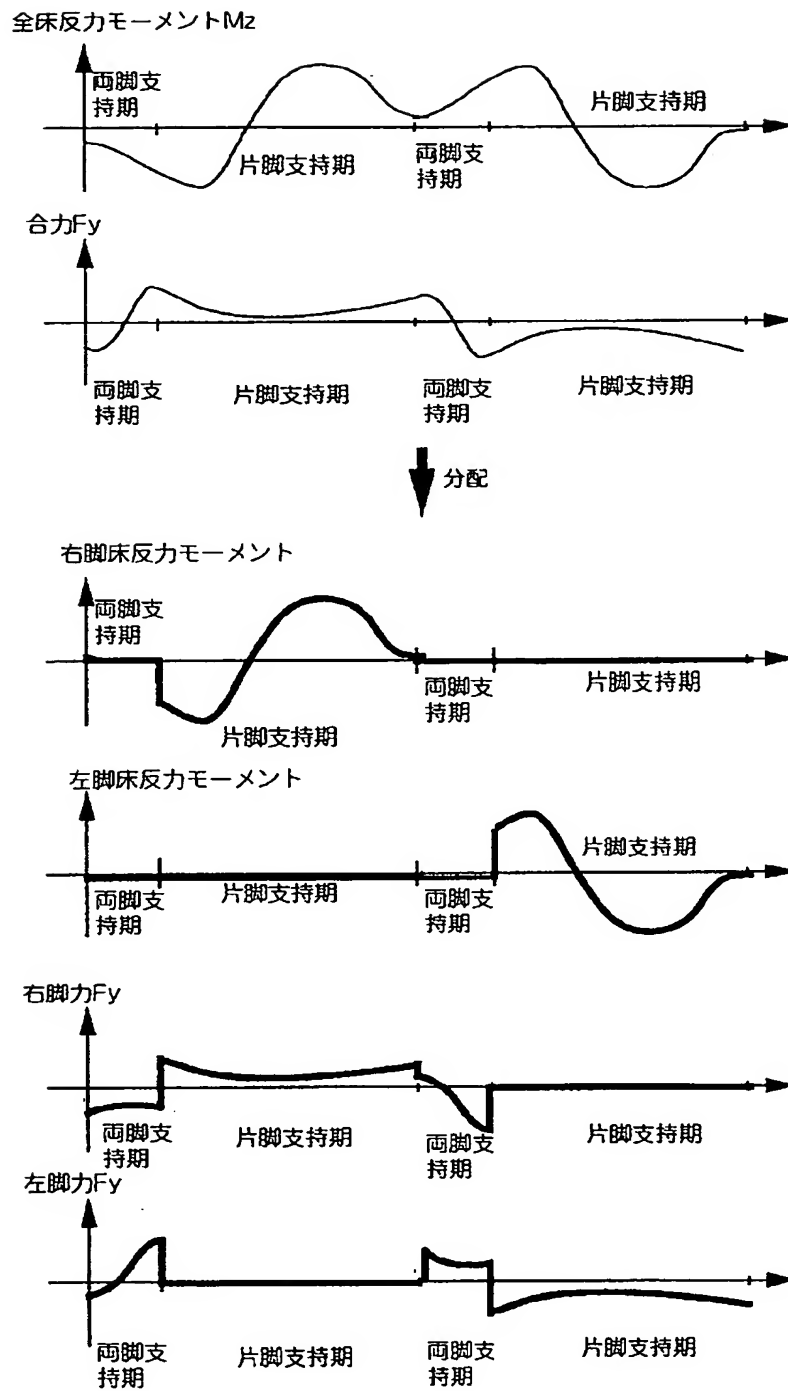
【図7】



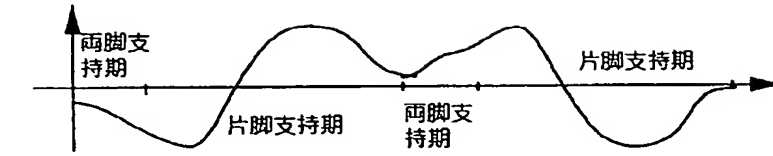
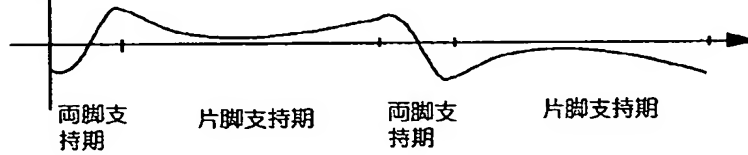
【図10】



【図8】

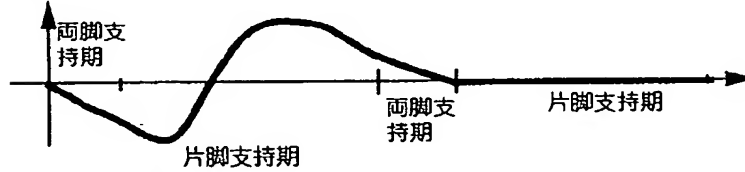


【図9】

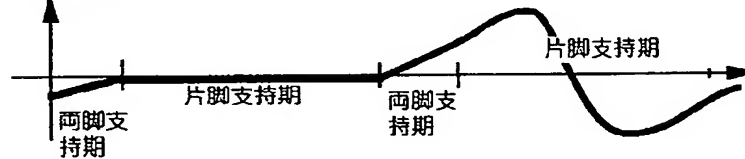
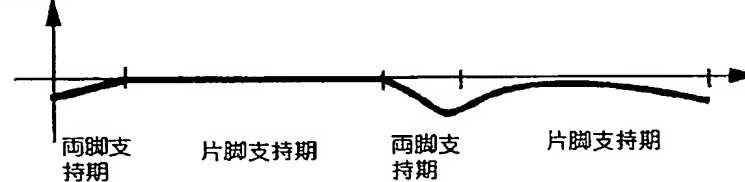
全床反力モーメント M_z 力 F_y 

↓ 分配

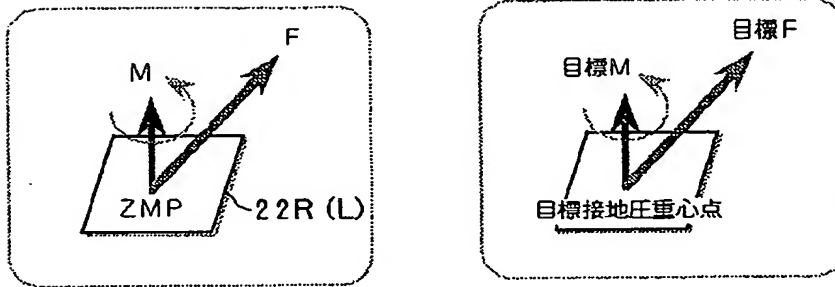
右脚床反力モーメント



左脚床反力モーメント

右脚力 F_y 左脚力 F_y 

【図11】

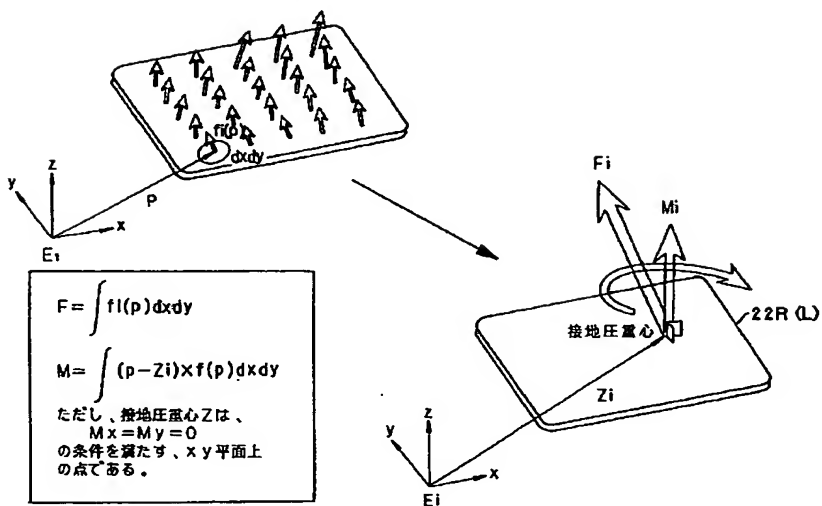


歩容として与えられる
ZMPと全床反力

=

目標として与える目標接地
圧重心点と目標床反力

【図12】



【図13】

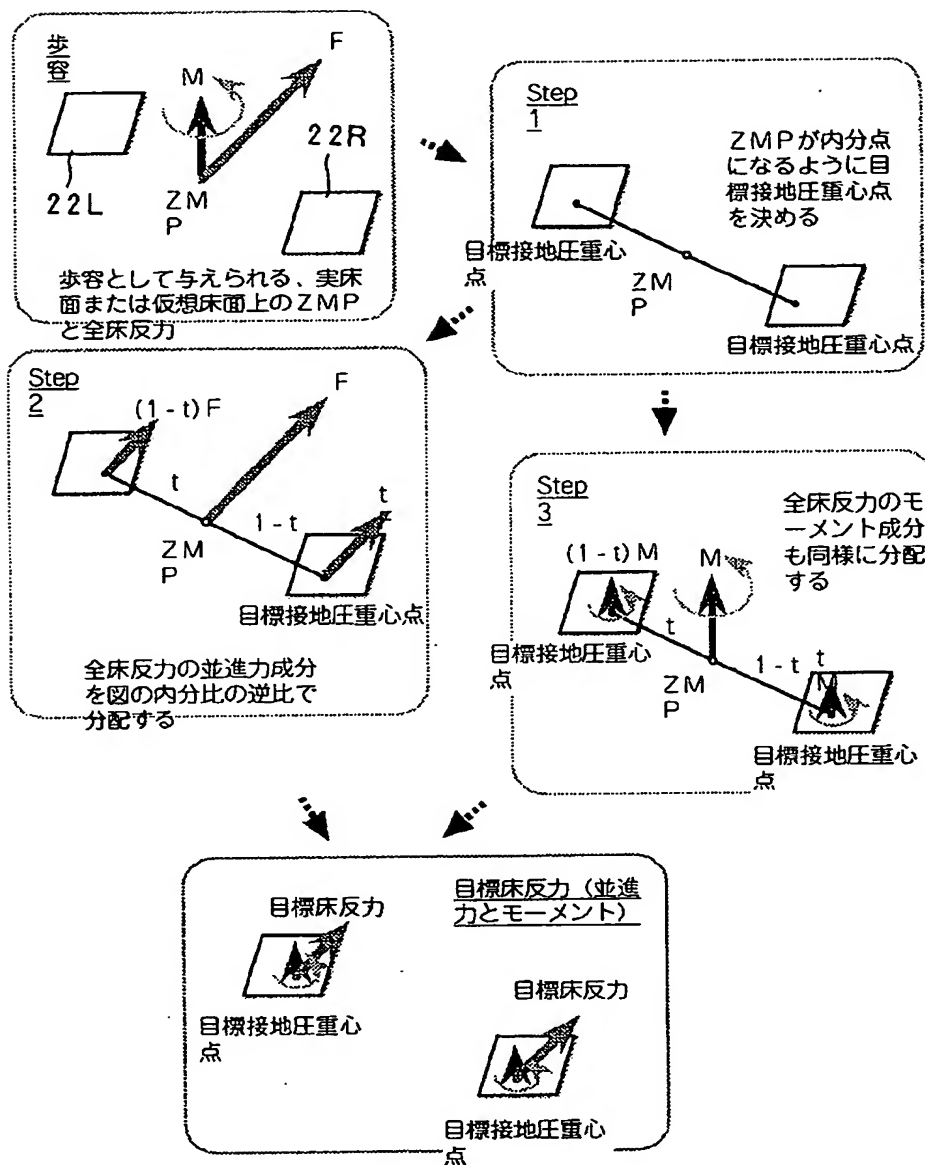
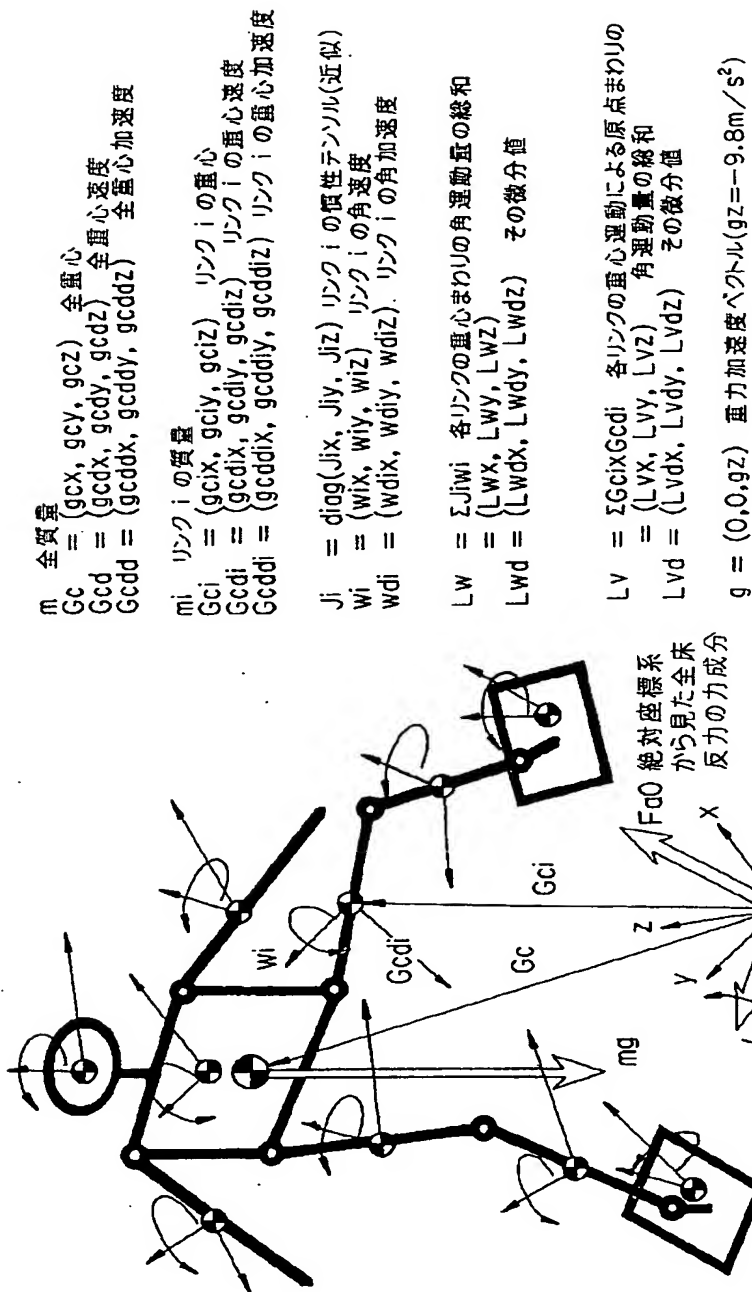


Fig. 4(b) 両足支持期の場合

〔図14〕



m 全質量
 $Gc = (gcx, gcy, gcz)$ 全重心
 $Gcd = (gcdx, gcdy, gcdz)$ 全重心速度
 $Gcdd = (gcdx, gcdy, gcdz)$ 全重心加速度
 m_i リンク i の質量
 $Gci = (gcix, gciy, gciz)$ リンク i の重心
 $Gcdi = (gcdix, gcdiy, gcdiz)$ リンク i の重心速度
 $Gcd di = (gcdix, gcdiy, gcdiz)$ リンク i の重心加速度
 $J_i = \text{diag}(Jix, Jiy, Jiz)$ リンク i の慣性テンソル(近似)
 $w_i = (wix, wiy, wiz)$ リンク i の角速度
 $w di = (wdix, wdiy, wdz)$ リンク i の角加速度
 $LW = \sum J_i w_i$ 各リンクの重心まわりの角運動量の総和
 $LW = (Lwx, Lwy, Lwz)$
 $Lwd = (Lwdx, Lwdy, Lwdz)$ その微分値
 $LV = \sum Gci \times Gcdi$ 各リンクの重心運動による原点まわりの
 $= (LVx, LVy, LVz)$ 角運動量の総和
 $Lvd = (Lvd x, Lvd y, Lvd z)$ その微分値
 $g = (0, 0, gz)$ 重力加速度ベクトル($gz = -9.8 \text{ m/s}^2$)

絶対座標系から見た全床反力のモーメント成分

$Fa0 + mg = mGcdd$	Newton eq.
$Ma0 + Gc \times (mg) = Lwd + Lvd$	Euler eq.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.